



Enveloppe hybride pour bâtiment économe

Florence Jousselein, Xavier Faure, Kévyne Johannes, Patrick Pierson, Daniel Quénard

► To cite this version:

Florence Jousselein, Xavier Faure, Kévyne Johannes, Patrick Pierson, Daniel Quénard. Enveloppe hybride pour bâtiment économe. Période 3: Jeudi 29 mai, 16h30 - 17h50, May 2008, France. <http://liris.cnrs.fr/cnriut08/actes/#p-riode-3-jeudi-29-mai-16h30-17h50>. hal-00634474

HAL Id: hal-00634474

<https://hal.science/hal-00634474>

Submitted on 21 Oct 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Enveloppe hybride pour bâtiment économe

Florence Jousselein *, Xavier Faure **, Kévin Johannes **, Daniel Quenard ** & Patrick Pierson *

** IUT 1 Grenoble
Département Génie Civil
BP67 38402 St Martin D'Hères CEDEX*

*** Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB),
24, rue Joseph Fourier 38400 Saint-Martin-d'Hères*

florence.jousselein@ujf-grenoble.fr; xavier.faure@cstb.fr;

**Sections de rattachement : 60
Secteur : Secondaire**

RÉSUMÉ. Pour réduire les consommations énergétiques dans les bâtiments, des solutions passives ont été développées en augmentant fortement l'isolation des parois extérieures. Un des moyens d'améliorer l'efficacité énergétique du bâti est de concevoir des façades multifonctionnelles qui permettent de capter les énergies disponibles localement : c'est le principe des enveloppes hybrides, capable à la fois d'isoler, de protéger, mais aussi de capter, stocker, transporter l'énergie. L'enveloppe hybride proposée utilise l'air comme vecteur énergétique, il circule dans une cavité disposée tout autour du bâtiment, sans contact avec l'intérieur. La source de chaleur en hiver provient de capteurs solaire à air intégrés en paroi extérieur, et le rafraîchissement en été de la ventilation dans les cavités. Les 2 fonctionnements sont couplés au stockage avec MCP. Une cellule test a été réalisée, modélisée et expérimentée.

MOTS-CLÉS : enveloppe de bâtiment, façade ventilée, bâtiment économe, économies d'énergie, bâtiment prototype, cellule-test, énergie intégrée en façade, capteur solaire thermique

1. Introduction

Cette étude s'inscrit dans la démarche nationale de réduction des consommations, tout en améliorant l'efficacité énergétique des bâtiments. Car le secteur du bâtiment consomme presque la moitié de l'énergie finale consommée en France et est responsable de 25% des émissions de gaz à effet de serre. Or l'objectif de la réglementation thermique pour 2012 correspond au label BBC (Bâtiment Basse Consommation, proche du label PassivHaus développé en Allemagne) défini en 2007.

Isolation extérieure et contrôle de la ventilation priorités actuelles, pour 2020 il s'agit de développer des bâtiments à énergie positive, qui en moyenne sur l'année seront capables de produire localement plus d'énergie qu'ils n'en consomment (Tab.1).



Tableau 1. Bâtiment (a) non isolé, (b) isolé-passif, (c) à énergie positive

L'un des moyens d'améliorer les performances énergétiques d'une construction bien isolée est de développer des enveloppes hybrides, enveloppes multifonctionnelles utilisées à la fois pour la protection, l'isolation, mais aussi pour le captage d'énergies et le stockage, avec des procédés intégrés dans les parois extérieures. Le bâti devient alors un système énergétique transformant les énergies locales (solaire, géothermie, éolien, hydraulique, biomasse...) pour répondre aux besoins : chaleur, fraîcheur, électricité.

2. Enveloppe hybride ventilée – principe et réalisation

De nombreux types de parois multifonctionnelles ont déjà été étudiés : mur ventilé, mur solaire (Fraisie *et al.* 2006), (Zalewski 2002). Dans ce travail, on considère une circulation d'air tout autour du bâtiment (sans contact avec l'air intérieur, fig. 1) : a) en hiver fonctionnement en boucle fermée (réchauffement solaire en façade Sud le jour puis transport de la chaleur au Nord et stockage la nuit), b) en été protection solaire le jour, fonctionnement en boucle ouverte la nuit pour rafraîchir en évacuant les calories stockées le jour, c) isolation à l'extérieur (Fig.1 - gris clair), sauf au Sud (Faure 2007).

Dans ce concept EnvHy, le système de ventilation entoure l'enveloppe et l'air circulant dans les parois doit s'adapter aux conditions extérieures (été et hiver), tout en intégrant les notions de confort sur l'année.

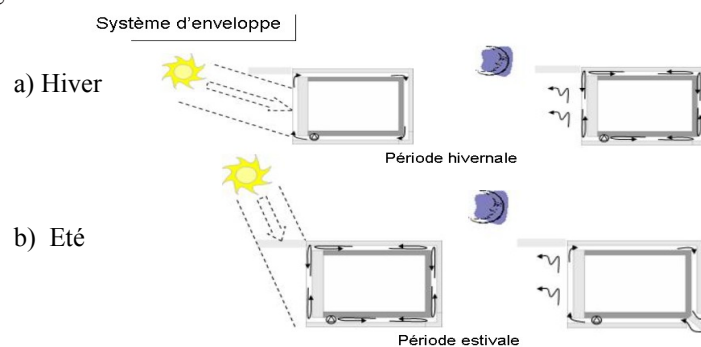


Figure 1. Enveloppe hybride ventilée en configuration Hiver, Eté, Jour et Nuit

L'originalité de ce travail réside dans la modélisation de l'ensemble de cette enveloppe et dans la recherche d'optimisation des différentes techniques (développées par ailleurs) : ventilation, matériaux à changement de phase, double peau, capteurs à air, ainsi que l'étude des mécanismes de convection dans l'espace confiné des cavités entourant l'enveloppe. Une simulation dans l'environnement TRNSYS a permis d'établir les performances énergétiques.

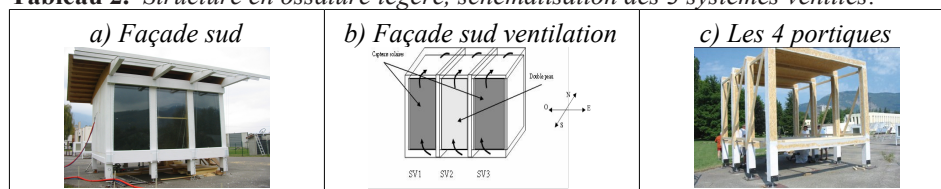
Ce travail a fait l'objet d'une thèse (Faure 2007), co-financée ADEME-CSTB (2004-2007); puis construction et expérimentation de la cellule-test EnvHy (2006-2008) coordonnées par le CSTB, dans le cadre du programme ANR-PREBAT (Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l' Energie dans les Bâtiments).

Cette cellule-test a été réalisée sur le site du CSTB Grenoble (Tab.2a). C'est une structure à ossature légère, modulaire, représentative d'une pièce d'habitation de surface intérieure 16m² (dimension intérieure 4.4 x 3.7 x 2.5 m³), surélevée de 80cm. L'IUT GC, partenaire du projet, a participé à la conception et la réalisation de la structure, sous la forme de projets de fin d'études, encadré par un architecte-conseil (CREABOIS - CNDB). La cellule est équipée de 93 thermocouples, de 10 fluxmètres, d'un hygromètre et d'un anémomètre.

Les parois Est-Ouest ne sont pas ventilées, l'air circule du nord au sud, du sol au plafond. Les ventilateurs et les trappes sont motorisés pour ajuster les vitesses d'écoulement et les configurations boucles ouverte ou fermée selon les besoins. De plus:

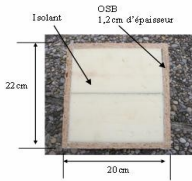

- *Isolation renforcée* : portique avec intérieur PU (Tab.3b), parois Est-Ouest 18cm PU, isolant sous-vide placé dans les panneaux situés entre les cavités d'air et l'extérieur (l'air dans les cavités joue aussi le rôle de «zone tampon»).
- *Apports énergétiques* : en hiver sur la façade Sud (Tab.2b), 2 systèmes ventilés équipés de capteurs solaires thermiques à air (panneau isolant peint en noir avec double vitrage), disposés de part et d'autre d'un double-double vitrage (double peau vitrée) pour capter l'ensoleillement direct; la nuit en été, les parois de stockage sont surventilées pour refroidir la masse thermique.
- *Stockage*: par panneaux inertes entre les cavités d'air et le volume intérieur avec matériaux à changement de phase (MCP), conditionnés en briquettes disposées en surface intérieure de la façade Nord et du sol (Tab.2c).

Tableau 2. Structure en ossature légère, schématisation des 3 systèmes ventilés:



Le Tableau 3 présente les caractéristiques des matériaux utilisés (Tab.3a) : isolant sous-vide (VIP), polystyrène (PS), polyuréthane (PU) dans le cœur des portiques, et panneaux en bois OSB. De plus, les MCP sont conditionnés dans des briquettes (dimension 2.5x17x13 cm³) réparties en damier dans le volume intérieur, contre la paroi Nord et sur le sol (Tab.3c).

Tableau 3. a) Caractéristiques thermiques des matériaux pour les panneaux de façade mesurées au CSTB, b) Section portique, c) Briquettes MCP contre les parois Nord et le sol

a)	ρ kg.m ⁻³	C_p J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	λ mW.m ⁻² .K ⁻¹	b) Section des portiques avec PU	c) 285 briquettes MCP
VIP	110	900	7		
PU	80	1400	23.6		
PS	30	1450	34.8		
OSB	650	1700	132		

Dans le Tableau 4 se trouvent la description des panneaux, les matériaux utilisés et leurs dimensions.

Tableau 4. Description et composition des panneaux de façade utilisés

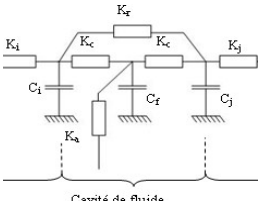
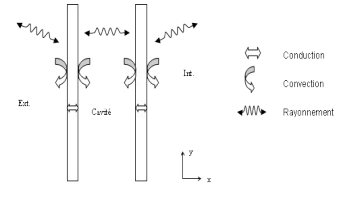
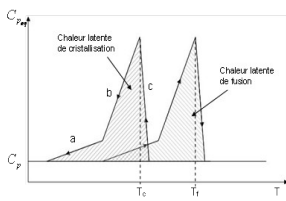
Façade	Description	Matériaux	Dimensions
Est et Ouest	Extérieur	Extérieur	2.5 x 3.5m ²
	Intérieur	Intérieur	
Nord, plafond et sol	Extérieur	Extérieur	2.4 x 1.25m ² (Nord) 3.4 x 1.25m ² (plafond et sol)
	Intérieur	Intérieur	
Capteur solaire à air	Extérieur	Extérieur	2.4 x 1.25m ²
	Intérieur	Intérieur	
Double peau vitrée	Extérieur	Extérieur	2.4 x 1.25m ²
	Intérieur	Intérieur	

3. Modèle numérique développé

Un code de simulation dynamique a été développé dans l'environnement TRNSys (Faure *et al.*, 2006) avec les hypothèses suivantes: écoulement d'air unidirectionnel et établi sans gradient transversal de température, température de surface homogène. Chaque composant du système (enveloppe ventilée, volume intérieur, parois solides et capteurs solaires) a fait l'objet d'une programmation spécifique en Fortran sous la forme de module et a été intégré à l'environnement TRNSys. Chaque module est relié aux autres par les conditions aux limites sur les bilans surfaciques.

- Pour les échanges thermiques : la conduction est représentée suivant l'analogie électrique- modèle 3R4C (Tab.5a), la convection forcée ou naturelle au sein de la cavité est modélisée avec différentes corrélations en fonction des régimes. La modélisation de ces différents échanges est décrite précisément dans le mémoire de thèse de (Faure 2007).
- Pour le stockage dans les MCP: une capacité effective équivalente est introduite à la place de la capacité dans le bilan énergétique (Kondo 2000).

Tableau 5. Modélisations: a) par analogie électrique, b) cavité d'air, c) MCP.

a) Analogie électrique	b) Cavité d'air et modes de transfert	c) Evolution capacité calorifique MCP: $f(T)$
 <p>Cavité de fluide</p>	 <p>Ext. Cavity Int.</p> <p>Conduction Convection Rayonnement</p>	 <p>Chaleur latente de cristallisation</p> <p>Chaleur latente de fusion</p> <p>T_c T_f T</p>

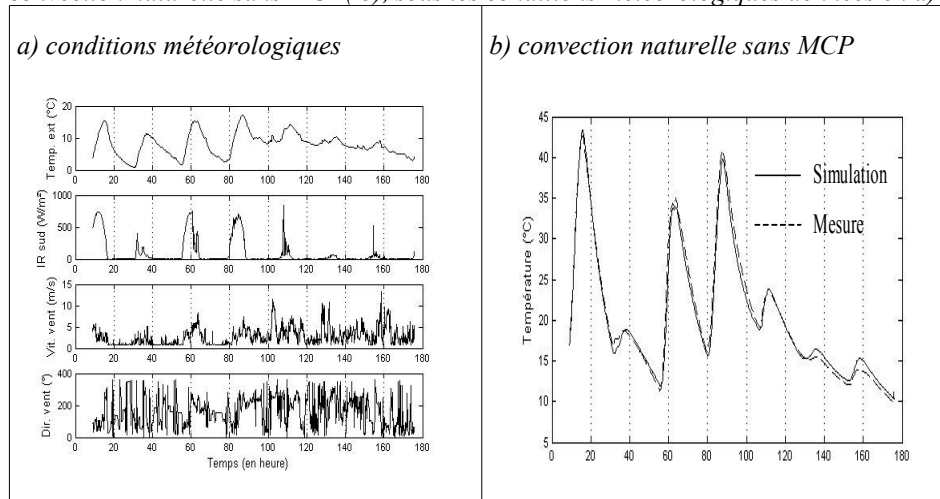
Le code numérique ainsi développé et adapté à la spécificité du système étudié permet d'obtenir le couplage entre les différentes possibilités: boucle ouverte ou fermée, régimes de convection naturelle ou forcée, inertie avec et sans changement de phase. Le fonctionnement entre les différents éléments est ainsi analysé, ainsi que la gestion des ventilateurs et des trappes selon les températures intérieures, extérieures, l'ensoleillement et l'état des MCP.

4. Comparaison entre résultats numériques et expérimentaux

Les premières comparaisons ont permis d'une part de calibrer la modélisation et d'autre part de vérifier sa validité. Les configurations suivantes ont été modélisées : convection naturelle / forcée, avec / sans MCP, boucle fermée / ouverte.

Selon les configurations, les conditions météorologiques diffèrent: température extérieure, ensoleillement sur une surface verticale Sud, vitesse et direction du vent (Tab. 6a) . Une station météo est située à proximité de la cellule test (environ 30 m).

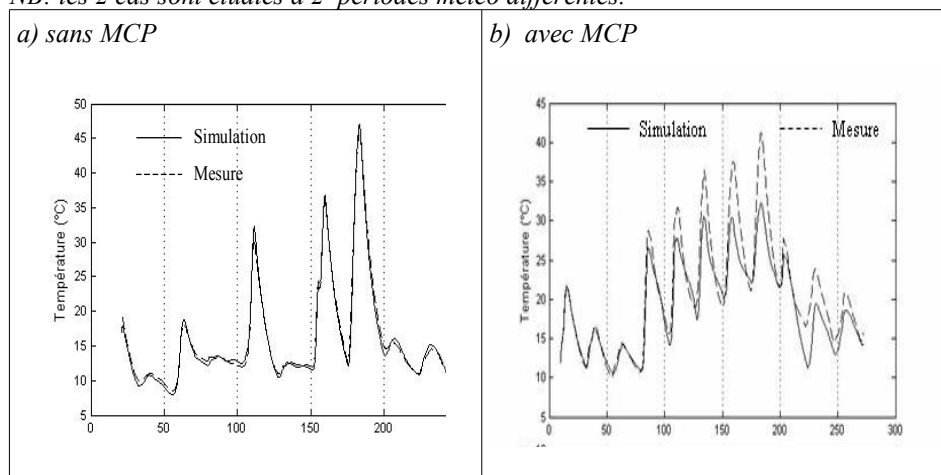
Tableau 6. Evolution des températures du volume intérieur mesurées et simulées en convection naturelle sans MCP(b), sous les conditions météorologiques données en a)



- *Convection naturelle sans MCP* (Tab.6b): Les conditions météorologiques varient selon les 8 journées (fortement ensoleillées ou non), ce qui conduit à des amplitudes au niveau de l'évolution de la température extérieure. Concernant la reproduction de la température d'air donnée par le modèle dans cette configuration, il est à noter la bonne corrélation entre les mesures et la modélisation. La température de sortie du capteur est plus difficile à prédire du fait de l'échange en convection naturelle, où la vitesse est variable avec la température.
- *Convection forcée* (Tab.7): les évolutions des températures du volume intérieur sont présentées Tableau 7 dans 2 cas, avec et sans les 285 briquettes de MCP.
 - sans MCP (Tab.7a), il apparaît que le modèle représente assez fidèlement la dynamique et la température d'air de la cellule. La différence de température entre la valeur mesurée et la valeur numérique n'excède pas les 2°C que ce soit en période fortement ensoleillée ou non.
 - avec MCP (Tab.7b) : bien que le modèle MCP ait été préalablement validé à l'échelle du matériau lui-même, notamment par des essais maîtrisés en laboratoire (Faure *et al.*, aug2007), des écarts importants apparaissent.

En début de période, dans le cas où les MCP sont complètement solides, les évolutions des températures mesurées et simulées sont similaires (Tab.7b). Dès la première transition (partielle) de phase, des différences apparaissent et s'élargissent. Les caractéristiques de transition de phase étant strictement identiques tout au long de la simulation, les températures simulées s'écartent petit à petit des mesures et les erreurs s'amplifient.

Tableau 7. Convection forcée: évolution en fonction du temps (en heure) des températures du volume intérieur mesurées et simulées a) sans MC et b) avec MCP. NB: les 2 cas sont étudiés à 2 périodes météo différentes.



Ainsi, le modèle fournit des résultats représentatifs de la réalité dans les cas de convection sans changement de phase. Par contre, avec les MCP le couplage thermique entre les 285 briquettes conduit à des transitions de phase non homogènes (Faure *et al.*, ap2007). D'autant plus que le contact avec les parois d'OSB n'est pas optimale, d'où les écarts observés. Les échanges entre les matériaux à changement de phase et la cavité distribuant l'énergie thermique ne sont pas optimisés du fait de l'hétérogénéité de la disposition des MCP et de la dynamique de transition de phase des MCP.

Dans le cas de simulations avec une faible épaisseur de MCP et une gestion réactive, ce type de configuration conduit à une diminution de la consommation en chauffage 30 à 50 % par rapport à une configuration bien isolée (de type BBC) (Faure 2007).

5. Conclusion

L'originalité d'EnvHy est de concevoir le système globalement (analyse de type systémique), selon plusieurs configurations boucle ouverte ou fermée, apports solaires, ventilation naturelle ou forcée, avec ou sans stockage.

Ce projet a permis la conception, la réalisation et l'exploitation d'une maquette avec l'instrumentation adaptée et un code de simulation qui permettra d'étudier le couplage entre toutes les fonctions: isolation, captage et stockage, avec ou sans inertie, avec ou sans MCP. Il s'agit par la suite d'établir le comportement de cette enveloppe en boucle ouverte ou fermée. Cette maquette sur le site de Grenoble est accessible aux étudiants, notamment d'IUT.

De plus, les parois étant conçues avec des panneaux amovibles, il est alors possible de tester et de modéliser d'autres configurations en modifiant les matériaux composant les panneaux, et ainsi d'améliorer la conception des parois. Le modèle physique développé dans l'environnement TRNSys permet aussi d'intégrer la modularité (enveloppe dynamique ou statique, stockage d'énergie en utilisant l'inertie des matériaux conventionnels ou en intégrant des MCP, couplage avec les apports solaires...) et d'optimiser la gestion énergétique par algorithme réactif ou anticipatif.

Ainsi, le comportement global d'une enveloppe hybride ventilée utilisant les apports solaires a été testé et modélisé, avec différentes options. Pour le fonctionnement d'été, une extension de la cellule-test avec un puits canadien est prévue cette année, venant compléter le rafraîchissement provenant de l'air entrant dans la cavité, localisée à l'intérieur des parois extérieures. Cet outil permettra d'évaluer les performances énergétiques d'enveloppe hybride, notamment ventilée, y compris en intégrant les aspects captage et stockage d'énergie thermique dans les parois.

Bibliographie

Faure X., «*Optimisation d'enveloppe hybride pour bâtiment à haute performance énergétique*», Mémoire de thèse, Université Joseph Fourier, nov.2007, 233 pages: site tel.archives-ouvertes.fr.

Faure X., Jousselein F., Pierson P., Quenard D., *RC network approach for hybrid envelopes in Positive Energy Buildings*, EPIC 2006 HIVE proceedings, Lyon, nov.2006, vol.3, p.473-478.

Faure X., Johannes K., Jousselein F., Pierson P., Quenard D., *Integrated PCMs solar system within the building envelop*, Heat Set 2007 proceedings, Chambéry, ap.2007, vol.2, p.711-719.

Faure X., Johannes K., Jousselein F., Pierson P., Quenard D., *Couplage des transferts de chaleur par convection, chaleur sensible et latente dans un système solaire intégré*, Proceeding du Congrès français de mécanique, Grenoble, august 2007, 6p.

Fraisse G. *et al.*, *The use of a heavy internal wall with a ventilated air gap to store solar energy and improve summer comfort in timber frame houses*, Energy & Buildings, 38 (2006), 293-302.

Kondo T. *et al.*, *Research on thermal storage of PCM wallboard*, Workshop for International Energy Agency, Annex 10, Japan, 2000.

Zalewski L., *Study of solar walls – validating a simulation model*, Building & Environment, 37 (2002), 109-121.